

ANALISIS TERMODINAMIKA PENGARUH VARIASI TEKANAN EKSTRAKSI *HIGH PRESSURE TURBINE* TERHADAP PERFORMA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP SURALAYA 410 MW DENGAN PEMODELAN *GATE CYCLE*

Achmad Maryono, dan Ary Bachtiar K. P., ST, MT, Ph.D

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: Achmedits@gmail.com dan Arybach@me.its.ac.id

Abstrak - Pembangkit listrik tenaga uap telah mengalami banyak evaluasi. Evaluasi tersebut dilakukan untuk meningkatkan performansi pembangkit sehingga dengan pemakaian sejumlah bahan bakar yang sama dapat diperoleh nilai efisiensi system pembangkit yang lebih tinggi. Penelitian dilakukan dengan membuat pemodelan powerplant dengan kondisi keadaan operasi normal menggunakan *software Gate Cycle*. Pemodelan powerplant dilakukan agar dapat mengetahui daya, efisiensi, heat rate pada kondisi normal dan variasi tekanan ekstraksi. Didapatkan hasil dengan pemodelan *gate cycle*, dengan melakukan perubahan tekanan ekstraksi yang lebih besar menyebabkan penurunan daya dan heat rate akan tetapi efisiensi sistem pembangkit semakin meningkat.

Kata Kunci—*Powerplant, Variasi Tekanan Ekstraksi High Pressure Turbine, Gate Cycle, Daya, Heat Rate, Efisiensi Thermal.*

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya zaman dan berkembangnya teknologi berbanding lurus dengan kebutuhan energi listrik. Hampir seluruh aspek kehidupan di Indonesia bergantung pada ketersediaan energi listrik. Indonesia Power sebagai salah satu perusahaan pembangkit listrik di Indonesia mempunyai beragam jenis pembangkit listrik. PLTU berbahan bakar batubara sangat vital penggunaannya di Indonesia maupun di dunia. Dimana 60 % pasokan listrik dunia masih bertumpu pada PLTU berbahan bakar batubara [1]. PLTU merupakan suatu sistem yang saling terkait antara satu komponen dengan komponen lainnya

Pembangkit listrik tenaga uap telah banyak dilakukan evaluasi di dalam proses kerjanya. Hal tersebut dilakukan untuk meningkatkan performansi pembangkit yang telah ada sehingga dengan pemakaian sejumlah bahan bakar yang sama dapat diperoleh nilai efisiensi system pembangkit yang lebih tinggi dan jumlah pasokan listrik ke masyarakat lebih baik.

Menurut GE (*General Electric*) *Power Systems* untuk meningkatkan efisiensi pembangkit listrik, sebelum fluida kerja yaitu air yang dipompa menuju *boiler*, air-umpan dinaikkan suhunya [1,2]. Pemanasan tersebut dilakukan dengan *heater (heat exchanger)* yang memanfaatkan uap panas yang diambil (diekstraksi) dari turbin.

Kondisi fisik dari *steam turbine* memungkinkan untuk melakukan ekstraksi pada tiap tingkatan sudu yang ada pada

steam turbine, hal tersebut juga memudahkan dalam penentuan tekanan yang diekstraksi, namun semakin besar tekanan yang diekstraksi berpengaruh pada efisiensi dari pembangkit tersebut. Sehingga diperlukan studi lebih lanjut mengenai hubungan tekanan ekstraksi turbin uap terhadap performa dari pembangkit listrik tenaga uap.

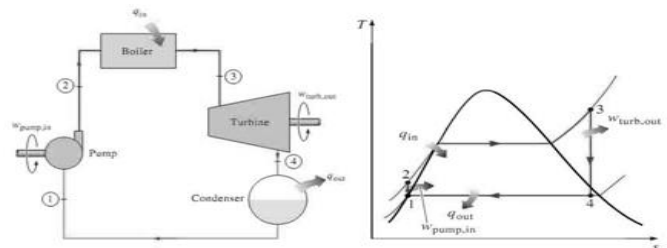
Yong Li dan Chao Wang dalam Jurnalnya yang berjudul “Study on The Effect of Regenerative System on Power Type Relative Internal Efficiency of Nuclear Steam Turbine” menyimpulkan bahwa perubahan ekstraksi akan mengakibatkan daya turbin dan pembakaran pada boiler berubah, dan akhirnya perubahan daya pada turbin dan boiler mengakibatkan efisiensi internal relative berubah [3]. M. M. Rashidi, A. Aghagoli, dan M. Ali dalam jurnal penelitian yang berjudul “*Thermodynamic Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heaters*” menyimpulkan bahwa ketika tekanan ekstraksi HP turbin meningkat, maka efisiensi juga meningkat. Tetapi setelah mencapai nilai maksimum, efisiensi cenderung turun [4].

Pada tugas akhir kali ini penulis akan membahas sebuah permasalahan yaitu pengaruh tekanan ekstraksi *high pressure turbine* terhadap efisiensi thermal dan *heat rate* pembangkit 410 MW dengan pemodelan *gate cycle*. Judul ini diambil berdasarkan keadaan aktual di PLTU Suralaya.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Pengenalan Rankine Cycle

Rankine Cycle merupakan salah satu siklus uap yang memberikan gambaran secara umum dari sub sistem pada PLTU. Pada sub sistem terjadi suatu proses konversi energi. Adapun komponen-komponen dasar penyusun sub sistem tersebut antara lain *boiler*, turbin, kondensor, dan pompa. Hal ini dapat dijelaskan pada Gambar 1.

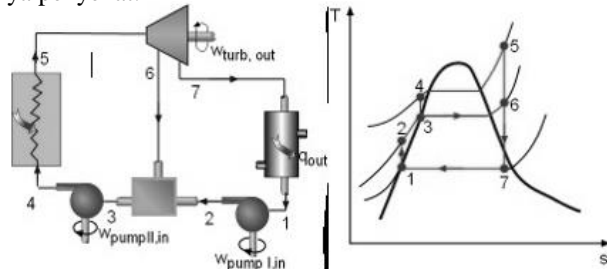


Gambar. 1. Skema dan T-s Diagram Siklus Rankine pada PLTU

Gambar 1 adalah gambar dari siklus Rankine ideal dan sub sistem pada PLTU. Selain siklus Rankine ideal terdapat juga siklus uap lain yaitu siklus *regeneratif*. Siklus ini merupakan salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi *thermal* dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yaitu dengan cara meningkatkan temperatur fluida yang akan masuk ke dalam boiler. Peningkatan temperatur ini dapat dilakukan dengan menggunakan suatu alat yang disebut dengan *feedwater heater*. Terdapat dua jenis *feedwater heater* yaitu *open feedwater heater* dan *closed feedwater heater*.

a Open feedwater heater

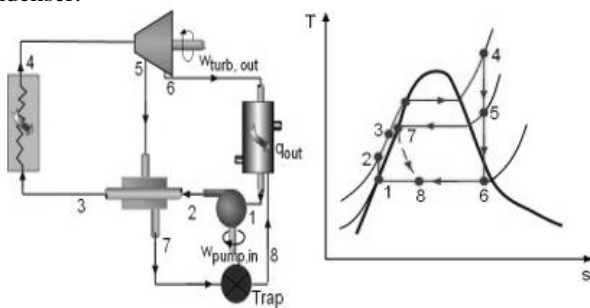
Open feedwater heater merupakan *heat exchanger* tipe *direct contact*. Pada *heat exchanger* jenis ini aliran yang berbeda temperatur akan bercampur secara langsung tanpa adanya penyekat.



Gambar 2. Siklus *Regeneratif* dengan satu *open feedwater heater* dengan T-s diagram

b Closed Feedwater heater

Closed feedwater heater merupakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Pada *feedwater heater* ini *feedwater* yang mengalir di dalam *tube* temperaturnya akan meningkat sedangkan ekstraksi uap akan terkondensasi di luar *tube*. Karena kedua fluida tidak bercampur maka keduanya dapat memiliki tekanan yang berbeda. Gambar 3 merupakan siklus *regeneratif* dengan menggunakan *closed feedwater heater* dimana air kondensasi dilewatkan melalui *steam trap* menuju kondenser.



Gambar 3. Siklus *Regeneratif* dengan satu *open feedwater heater* dengan T-s diagram

Pada T - S diagram proses 7 – 8 adalah suatu proses *thortling* yang terjadi pada *steam trap*. Pada proses ini terjadi ekspansi tekanan yang cukup signifikan dengan *enthalpy* yang konstan atau dapat dikatakan *enthalpy* pada keadaan 7 memiliki nilai yang sama dengan entalpi pada keadaan 8.

B. Analisa Berdasarkan Termodinamika

Peralatan – peralatan seperti turbin, pompa, kompresor dan *heat exchanger* dapat dilakukan analisa sistem tertutup dengan

menggunakan sudut pandang *control volume*. *Control volume* merupakan suatu daerah yang akan dilakukan analisa secara detail.

Dalam sistem teknik, keadaan *steady state* merupakan keadaan yang ideal yang berarti semua sifat tidak berubah seiring dengan berubahnya waktu. Begitu juga dengan laju aliran massa laju serta perpindahan energi oleh *kalor* dan kerja juga konstan terhadap waktu, dengan demikian $\frac{dE_{cv}}{dt} = 0$. Hal ini dapat dilihat dari persamaan energi.

Persamaan Energi dengan hukum Termodinamika:

$$\text{Energy kinetic diabaikan} \quad \cancel{\dot{m}(u_t + pv + \frac{1}{2}V^2 + gz)_{in} - \dot{m}(u_t + pv + \frac{1}{2}V^2 + gz)_{out} + \dot{q} - \dot{W} = 0}$$

Energy potensial diabaikan Tidak ada kerja

Untuk *enthalpy* : $h = u + pv$

$$\dot{m}(h_{in} - h_{out}) = \dot{m}c_p(T_{in} - T_{out})$$

Dimana: c_p = kalor spesifik

T = temperatur

Hal diatas dijelaskan bahwa energi kinetik dan energi potensial dapat diabaikan dikarenakan kecepatan aliran fluida yang masuk sama dengan kecepatan aliran fluida yang keluar. Sedangkan energi potensial diabaikan karena tidak ada pengaruh ketinggian antara fluida di dalam sistem karena masih dalam volume atur yang sama.

Dengan menggunakan penerapan kesetimbangan laju massa dan energi pada volume atur dari tiap bagian peralatan utama dapat dijelaskan sebagai berikut:

Rumus-rumus yang digunakan untuk sistem pembangkit antara lain :

Kerja yang dihasilkan oleh steam turbin

$$\dot{W}_t = \dot{m}(h_i - h_o)$$

Kalor yang dikeluarkan oleh kondenser

$$\dot{Q}_{cv} = \dot{m}(h_i - h_o)$$

Kerja yang dibutuhkan oleh pompa

$$\dot{W}_{cv} = \dot{m}(h_o - h_i)$$

Kalor yang dibutuhkan oleh boiler/reheat

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}(h_o - h_i)$$

Mencari fraksi massa di setiap feedwater heater (closed feed)

$$y' = \frac{h_o - h_i}{(h_{u_{in}} - h_{u_{out}})}$$

Mencari fraksi massa di setiap feedwater heater (open feed)

$$y'' = \frac{h_o - h_i}{h_{u_{in}} - h_i}$$

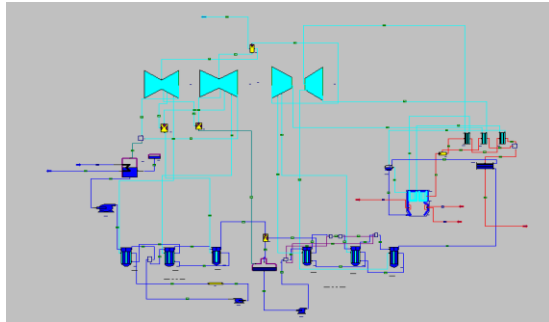
C. Pemodelan Dengan Gate Cycle

Pada penelitian kali ini unjuk kerja dari sistem dapat diketahui dari pemodelan. Langkah-langkah pemodelan sebagai berikut:

Pembuatan rangkaian powerplant

Pada tahap pertama proses simulasi adalah pembuatan rangkaian sistem pembangkit sesuai heat balance PLTU Suralaya 410 MW. Berikut ini adalah gambaran sebuah

rangkaian sistem pembangkit yang telah dibuat dengan software gate cycle, terdiri dari beberapa *turbin*, *condensor*, beberapa FWH, *dearator*, *boiler* serta *superheaternya*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4 sebagai berikut :



Gambar 4. Skema rangkaian sistem pembangkit tenaga

Memasukkan data *properties*

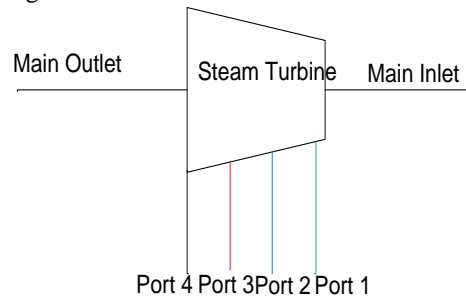
Merupakan langkah selanjutnya dalam melakukan proses pemodelan dengan menggunakan *software gate cycle*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui hasil efisiensi pada suatu sistem. Berikut ini data yang akan di *input* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1 Data Input Pemodelan Gate Cycle Pada Kondisi Normal

No	Komponen	Metode	Data Input	Satuan
1	Boiler	Desired Flow Exit Temperatur	1220540 538	Kg/h °C
2	HP-Turbine	Input Pressure Exit Pressure	16671 3961,89	kPa kPa
3	IP-Turbine	Input Pressure Pressure Extraction 1 Pressure Extraction 2 Exit Pressure	3961,89 1833,8 1029,7 922,73	kPa kPa kPa kPa
4	LP-Turbine 1	Input Pressure Pressure Extraction 1 Pressure Extraction 2 Pressure Extraction 3 Exit Pressure	922,73 467,78 184,37 55,45 6	kPa kPa kPa kPa kPa
5	LP-Turbine 2	Input Pressure Pressure Extraction 1 Pressure Extraction 2 Pressure Extraction 3 Exit Pressure	922,73 467,78 184,37 24,37 6	kPa kPa kPa kPa kPa
6	Condenser	Operating Pressure	6	kPa
7	Pump 1 (CEP-1)	Desired Mass Flow Outlet Pressure	799848 467,78	kg/h kPa
8	Pump 2 (CEP-2)	Desired Mass Flow Outlet Pressure	121212 467,78	kg/h kPa
9	Pump 3 (BFP-1)	Desired Mass Flow Outlet Pressure	1220540 16671	kg/h kPa
10	LP Heater 1 (FWH1)	Terminal Temperatur Differential	2,6	°C
11	LP Heater 2 (FWH2)	Terminal Temperatur Differential	1,2	°C
12	LP Heater 3 (FWH3)	Terminal Temperatur Differential	3	°C
13	Deaerator	Simple Constant Pressure	467,78	kPa
14	HP Heater 5 (FWH5)	Terminal Temperatur Differential	-2,4	°C
15	HP Heater 6 (FWH6)	Terminal Temperatur Differential	-2,8	°C
17	HP Heater 7 (FWH7)	Terminal Temperatur Differential	-4,6	°C

Melakukan variasi tekanan ekstraksi high pressure turbine

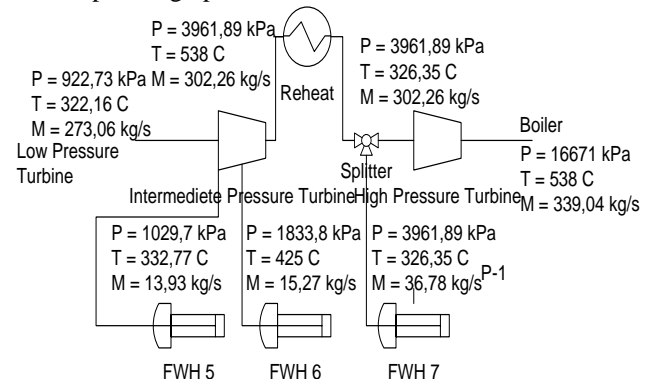
Variasi tekanan ekstraksi high pressure turbine digambarkan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 5. Skema ekstraksi turbin

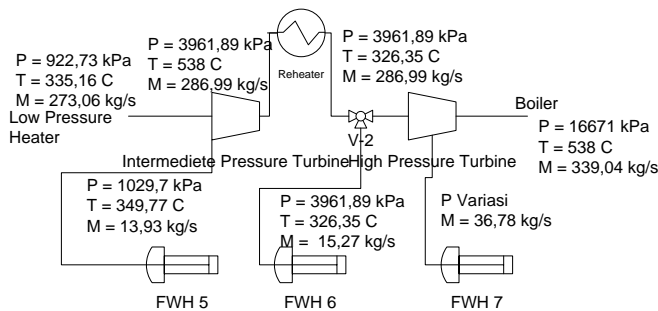
Sesuai dengan standar GE [2] yaitu ekstraksi yang diijinkan untuk *steam turbine* adalah 4 port ceratan dengan *ratio pressure* maksimal 0,8 antar port ceratan. Variasi yang dilakukan adalah mengubah tekanan ekstraksi pada high pressure turbine. Untuk variasi pertama yaitu port 4 yang digunakan untuk memanaskan feedwater heater 7 dimana hanya terdapat satu ekstraksi saja pada high pressure turbine dengan *ratio pressure* 0,8 dari tekanan main outlet. Untuk variasi kedua yaitu pada port 3 saja yang digunakan untuk memanaskan feedwater heater 7 dimana hanya terdapat satu ekstraksi pada high pressure turbine dengan *ratio pressure* 0,8 dari tekanan port 4. Untuk variasi ketiga yaitu pada port 2 saja yang digunakan untuk memanaskan feedwater heater 7 dimana hanya terdapat satu ekstraksi pada high pressure turbine dengan *ratio pressure* 0,8 dari tekanan port 3. Untuk variasi keempat yaitu pada port 1 saja yang digunakan untuk memanaskan feedwater heater 7 dimana hanya terdapat satu ekstraksi pada high pressure turbine dengan *ratio pressure* 0,8 dari tekanan port 2. Dari variasi tersebut digambarkan pada gambar 7 dimana high pressure turbine di ekstraksi dengan satu ekstraksi.

Pada Gambar dibawah ini merupakan skema variasi yang dilakukan pada high pressure turbine.



Gambar 6. Skema rangkaian sistem pembangkit tenaga keadaan normal

Sistem pembangkit dalam keadaan normal adalah suatu sistem dengan rangkaian instalasi sesuai heat balance dan keadaan aktual powerplant. Untuk perubahan skema instalasi ditunjukkan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 7. Skema rangkaian sistem pembangkit tenaga keadaan variasi

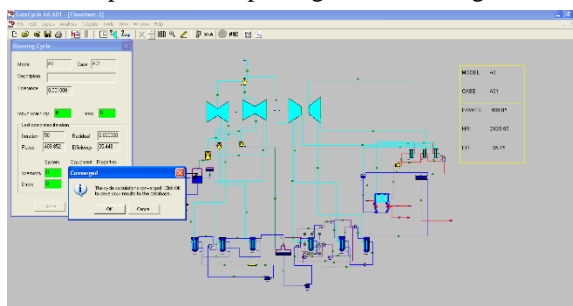
Nilai tekanan yang divariasikan adalah tekanan ekstraksi high pressure turbine sebelum masuk FWH 7 seperti yang ditunjukkan pada gambar 7. Untuk besar tekanan ekstraksi ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2 Nilai variasi tekanan ekstraksi high pressure turbine sebelum masuk FWH 7

Kedaaan	Ratio Pressure	Tekanan (kPa)
Normal	-	3961,89
Variasi 1	0,8 dari port main outlet	4952,3
Variasi 2	0,8 dari port 4	6190,3
Variasi 3	0,8 dari port 3	7737,8
Variasi 4	0,8 dari port 2	9672,2

Simulasi process & flow diagram pada software gate cycle

Merupakan langkah akhir dalam melakukan simulasi sistem pembangkit pada *software gate cycle*. Pemodelan yang telah dibuat mengeluarkan hasil *power* serta efisiensi ataukah pemberitahuan error pada sistem pembangkit kita. Berikut ini hasil yang diharapkan setelah melakukan simulasi hasil pemodelan dapat kita lihat pada gambar 8. sebagai berikut :



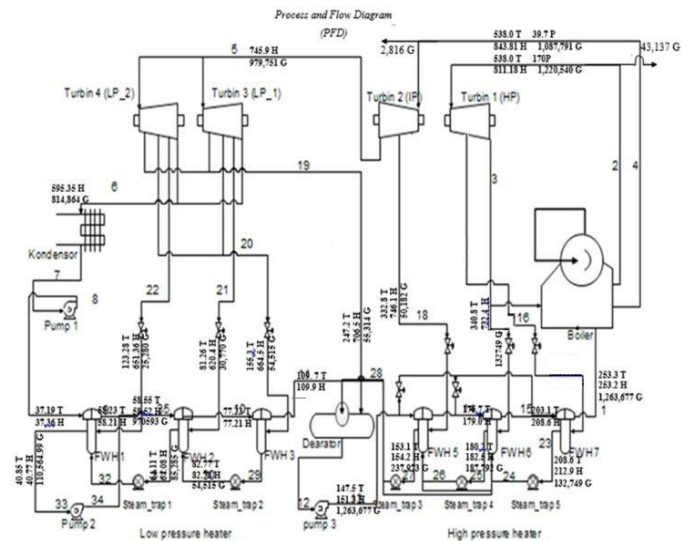
Gambar 8. Simulasi hasil pemodelan sistem pembangkit tenaga

Hasil yang didapatkan pada pemodelan menggunakan *software gate cycle* ini selanjutnya dapat dibandingkan lebih lanjut berdasarkan analisis termodinamika.

III. PETUNJUK TAMBAHAN

A. Data Sistem Pembangkit Di Suralaya

Dalam perancangan sistem pembangkit perlu diketahui data awal sistem pembangkit tersebut. Hal ini dilakukan agar mendapatkan efisiensi dan daya yang sesuai sistem pembangkit. Berikut ini gambar *heat and mass balance* yang penulis gambarkan dalam bentuk PFD yang akan digunakan pada termodinamika dan *software gate cycle*.



Gambar 9. Process and Flow Diagram pada sistem Pembangkit

Perbandingan sistem pembangkit antara pemodelan Gate Cycle dan heat balance PLTU suralaya pada kondisi variasi 1

Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai antara data sistem pembangkit dari PLTU Suralaya dengan analisis secara termodinamika dengan pemodelan sistem pembangkit pada *software gate cycle*. Dengan adanya perbedaan ini, kita dapat mengetahui dan menganalisa setiap komponen sistem pembangkit yang terjadi.

Tabel 3 Perbedaan Sistem Pembangkit Secara Termodinamika dengan Pemodelan Gate Cycle Pada Kondisi Normal

No	Nama Komponen	Satuan	Hasil Gate Cycle	Analisa Termodinamika
1	Steam Turbine 1	kW	117193	118562
2	Steam Turbine 2	kW	116503	116450
3	Steam Turbine 3	kW	96686	96588
4	Steam Turbine 4	kW	91767	91868
5	Pump 1	kW	-120,51	-104,017
6	Pump 2	kW	-15,85	-15,46
7	Pump 3	kW	-6744,2	-6431,93
8	Boiler	kJ/kg	1008850	975898
9	Effisiensi	%	40,32	41,03
10	Net Power	kW	407873	416917
11	Heat Rate	kJ/kW-hr	8927,32	8807,52

Selisih perhitungan pada sistem pembangkit antara metode perhitungan secara termodinamika dengan pemodelan menggunakan *software gate cycle* tersebut terjadi dikarenakan oleh beberapa hal yaitu pada *software gate cycle*, laju aliran massa yang tidak bisa disetting sesuai dengan keadaan aktualnya.

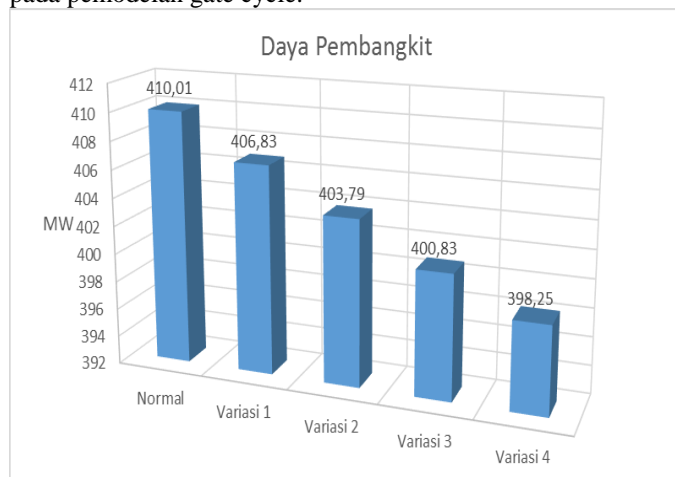
Dari hasil yang telah kita dapatkan diatas, adanya selisih antara perhitungan termodinamika dari data PLTU Suralaya dengan hasil simulasi pada *software gate cycle* yang disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

1. Penyettingan (*adjustment*) semua komponen di sistem pembangkit pada pemodelan gate cycle tidak dapat dilakukan dengan keadaan *aktual* yang ada di lapangan.
2. Laju aliran massa pada gate cycle tidak dapat disetting sama dengan keadaan *aktual* di PLTU Suralaya.
3. Efisiensi pada masing-masing komponen di sistem pembangkit yang tidak penulis ketahui. Hal ini mempengaruhi hasil simulasi yang didapat pada gate cycle.

Setelah melihat delta *enthalpy* pada masing-masing komponen di sistem pembangkit di software gate cycle dan *aktual* di PLTU Suralaya terlihat bahwa perbedaan delta *enthalpy*nya sangat kecil. Sehingga disimpulkan penggunaan pemodelan sistem pembangkit menggunakan software gate cycle dapat digunakan. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pengerjaan selanjutnya untuk memodelkan sistem pembangkit pada keadaan normal dan proses variasi.

B. Bar Chart Beda Daya, Efisiensi dan Heat Rate

Berikut ini adalah bar chart beda daya di setiap keadaan pada pemodelan gate cycle.

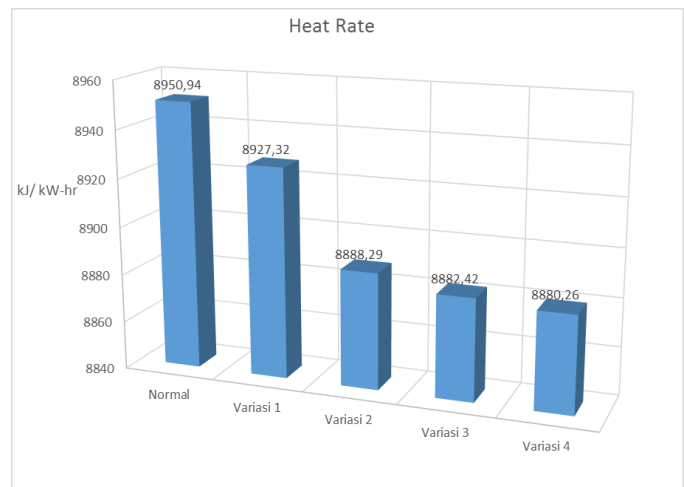


Gambar 10. Bar chart beda daya dan eff. Sistem yang terjadi pada tiap-tiap keadaan.

Dari bar chart diatas terlihat bahwa daya *netto* sistem pembangkit mengalami penurunan yang cukup besar. Pada penjelasan bar chart diatas daya sistem pembangkit mengalami penurunan. Penurunan daya tersebut diakibatkan adanya proses ekstraksi dan naiknya entalpi ekstraksi akan menurunkan energi sisa untuk memutar turbin karena uap sisa yang digunakan turbin berkurang sesuai persamaan berikut.

$$Wt = (\dot{m})(h_{inlet} - h_{ext1}) + (\dot{m} - \dot{m}_{y'_{ext1}})(h_{ext1} - h_{out})$$

Berikut ini adalah bar chart beda heat rate di setiap keadaan pada pemodelan gate cycle.

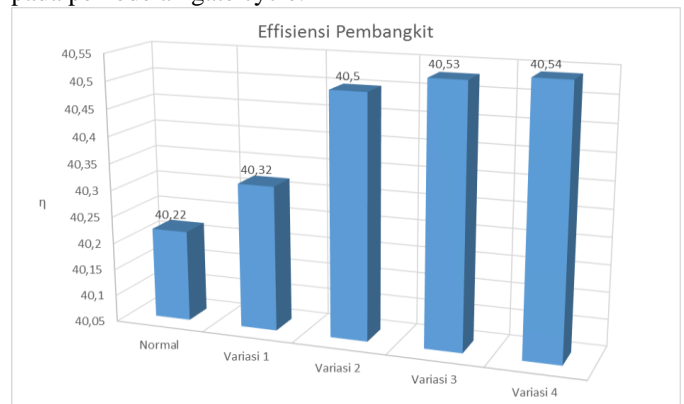


Gambar 11. Bar chart beda Heat Rate Sistem yang terjadi pada tiap-tiap keadaan

Dari bar chart pada gambar 11 terlihat bahwa heat rate sistem pembangkit mengalami penurunan yang cukup besar kemudian turun dengan landai. Penurunan heat rate tersebut diakibatkan naiknya entalpi dan tempertur ekstraksi yang akan memanaskan feedwater sebelum masuk boiler. Sehingga dengan naiknya temperatur steam inlet feedwater heaters maka temperatur feedwater yang keluar akan memiliki temperatur yang semakin naik dan akan menurunkan kebutuhan konsumsi bahan bakar pada boiler. Hal tersebut dapat dijelaskan pada rumus di bawah ini.

$$Heat\ rate = \frac{(\dot{m}_{fuel} \cdot LHV_{fuel})}{Power_{Netto}}$$

Berikut ini adalah bar chart beda efisiensi di setiap keadaan pada pemodelan gate cycle.



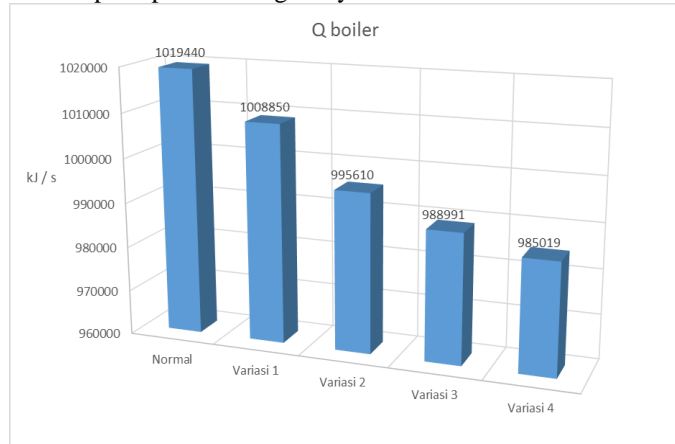
Gambar 12. Bar chart beda Heat Rate Sistem yang terjadi pada tiap-tiap keadaan

Dari bar chart pada gambar 12 diatas terlihat bahwa efisiensi sistem pembangkit mengalami kenaikan yang cukup besar pada variasi 1 dan variasi 2 lalu kenaikan landai pada variasi 3 dan variasi 4. Kenaikan efisiensi tersebut diakibatkan naiknya entalpi dan temperatur feedwater yang keluar dari feedwater heaters sehingga menurunkan kebutuhan konsumsi bahan bakar pada boiler. Daya yang turun cukup signifikan dan selisih konsumsi bahan bakar yang besar kemudian semakin kecil mengakibatkan bar chart berbentuk kurva. Hal tersebut dapat dijelaskan pada rumus di bawah ini.

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}}$$

C. Bar chart beda Q boiler di berbagai keadaan pada pemodelan gate cycle

Berikut ini adalah bar chart beda Q boiler di berbagai kondisi pada pemodelan gate cycle



Gambar 13. Bar chart beda Q boiler yang terjadi pada tiap-tiap keadaan.

Dari bar chart pada gambar 13 diatas terlihat bahwa Qboiler sistem pembangkit mengalami penurunan yang cukup besar. Pada keadaan normal Qboiler system pembangkit sebesar 1019440 kJ/s, kemudian pada keadaan variasi 1 Qboiler sistem pembangkit sebesar 1008850 kJ/s. Pada keadaan variasi 2, Qboiler sistem pembangkit sebesar 995610 kJ/s. Pada keadaan variasi 3, Qboiler sistem pembangkit sebesar 988991 kJ/s. Pada keadaan variasi 4, Qboiler sistem pembangkit sebesar 985019 kJ/s.

Turunnya Qboiler diakibatkan naiknya entalpi dan temperatur ekstraksi yang akan memanaskan feedwater sebelum masuk boiler. Sehingga dengan naiknya temperatur steam inlet feedwater heaters maka temperatur feedwater yang keluar akan memiliki temperatur dan entalpi yang semakin naik. Dengan naiknya temperatur dan entalpi sebelum masuk boiler akan menurunkan kebutuhan konsumsi bahan bakar pada boiler. Hal tersebut dapat dijelaskan pada rumus di bawah ini.

$$q_{steam} = q_{feedwater}$$

$$\dot{m}_{steam}(h_i - h_o) = \dot{m}_{fw} c_p (T_{fw_out} - T_{fw_in})$$

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari studi yang dilakukan serta pembahasan terhadap data yang didapatkan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemodelan sistem pembangkit pada gate cycle adalah convergent.
2. Data hasil simulasi gate cycle di setiap komponen pada semua keadaan sebagai berikut :

No	Nama Komponen	Satuan	Normal	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
1	Steam Turbine 1	kW	118969	117193	110647	109742	109160

2	Steam Turbine 2	kW	115641	116503	116628	117197	116739
3	Steam Turbine 3	kW	95213	96686	98603	97010	96130
4	Steam Turbine 4	kW	95569	91767	92193	91647	92054
6	Pump 1	kW	-121,47	-120,51	-121,73	-120,81	-120,21
7	Pump 2	kW	-17,83	-15,85	-15,85	-15,85	-15,85
8	Pump 3	kW	-6732,5	-6744,2	-6345,3	-6314,2	-6294
9	Boiler	kJ/kg	1019440	1008850	995610	988991	985019
10	Effisiensi	%	40,22	40,32	40,50	40,53	40,54
11	Net Power	kW	410012	407873	403226	400833	399370
12	Heat Rate	kJ/kW-hr	8950,94	8927,32	8888,8	8882,42	8879,1

3. Effisiensi tertinggi sistem pembangkit yaitu pada variasi tekanan ekstraksi 9160,3 kPa sebesar 40,54 % dengan kebutuhan kalor boiler sebesar 985019 kJ/s, heat rate sebesar 8879,1 kJ/ kW-hr serta daya sebesar 399,923 MW.
4. Daya tertinggi sistem pembangkit yaitu pada variasi tekanan ekstraksi 3961,89 kPa sebesar 410,012 MW dengan kebutuhan kalor boiler sebesar 1019440 kJ/s, heat rate 1019440 kJ/s serta effisiensi sistem pembangkit sebesar 40,22 %.
5. Adanya proses ekstraksi turbin menyebabkan penurunan daya yang signifikan.
6. Tekanan ekstraksi turbin yang semakin tinggi mempengaruhi naiknya temperatur steam inlet feedwater heater serta naiknya temperatur inlet boiler. Dengan naiknya temperatur inlet boiler menyebabkan turunnya kebutuhan kalor boiler.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITS yang telah banyak mendukung kelancaran penelitian kali ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.S. Wright, **Steam Turbine Cycle Optimization, Evaluation, and Performance Testing Consideration**. GE Power Systems. Schenectady New York. GER-3642E.
- [2] Michael Erbes Enginomix, LLC. **GateCycle & CycleLink: Software for Thermal System Design and Analysis**, Florida Power & Light. ; 2010.
- [3] Yong Li, Chao Wang. **Study on The Effect of Regenerative System on Power Type Relative Internal Efficiency of Nuclear Steam Turbine**. Journal Science Direct Energy Procedia 17 (2012) 906-912.
- [4] M. M. Rashidi, A. Aghagholi, M. Ali. **Thermodynamic Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heaters**. Journal Advances in Mechanical Engineering Volume 2014, Article ID 940818.